

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1944

THÈSE

N° 152

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

André CROUZATIER

Né le 29 octobre 1918, à Paris (14^e)
Ancien Externe des Hôpitaux de Paris

31 MAI 1944

Présentée et soutenue publiquement le 1944

Mesure

de la

**Pression réelle intra-cavitaire et du Débit
dans la Méthode de Monaldi**

Appareils nouveaux et Méthode générale

Président : M. TROISIER, Professeur.

LIBRAIRIE MALOINE

Société anonyme d'Éditions Médicales et Scientifiques

27, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 27

PARIS, 1944

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

Nom du Candidat : **CROUZATIER.**

Prénom : **André.**

Date de la soutenance :

Numéro d'ordre :

1

CROUZATIER (André). — Mesure de la pression réelle intracavitaire et du débit dans la méthode de Monaldi. Appareils nouveaux et méthode générale. — Paris, Maloine, édit., 1944, in-8°, 68 p.

(Th. Méd. (Et.), Paris, 1944,
N°.....)

2

CROUZATIER (André). — Mesure de la pression réelle intracavitaire et du débit dans la méthode de Monaldi. Appareils nouveaux et méthode générale. — Paris, Maloine, édit., 1944, in-8°, 68 p.

(Th. Méd. (Et.), Paris, 1944,
N°.....)

3

CROUZATIER (André). — Mesure de la pression réelle intracavitaire et du débit dans la méthode de Monaldi. Appareils nouveaux et méthode générale. — Paris, Maloine, édit., 1944, in-8°, 68 p.

(Th. Méd. (Et.), Paris, 1944,
N°.....)

4

CROUZATIER (André). — Mesure de la pression réelle intracavitaire et du débit dans la méthode de Monaldi. Appareils nouveaux et méthode générale. — Paris, Maloine, édit., 1944, in-8°, 68 p.

(Th. Méd. (Et.), Paris, 1944,
N°.....)

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1944

THÈSE

N° —

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

PAR

André CROUZATIER

Né le 29 octobre 1918, à Paris (14^e)
Ancien Externe des Hôpitaux de Paris

Présentée et soutenue publiquement le 1944

Mesure

de la

**Pression réelle intra-cavitaire et du Débit
dans la Méthode de Monaldi**

Appareils nouveaux et Méthode générale

Président : M. TROISIER, Professeur.

LIBRAIRIE MALOINE

Société anonyme d'Éditions Médicales et Scientifiques

27, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 27

PARIS, 1944

LE DOYEN... BAUDOUIN

I. — PROFESSEURS

MM.

Anatomie	ROUVIÈRE.
Physiologie	Léon BINET.
Physique médicale	STROHL.
Chimie médicale	POLONOVSKI.
Bactériologie	GASTINEL.
Parasitologie et histoire naturelle médicale	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générales	BAUDOUIN.
Pathologie médicale	CHABROL.
Pathologie chirurgicale	PETIT-DUTAILLIS.
Anatomie pathologique	LEROUX.
Histologie	CHAMPY.
Pharmacologie et matière médicale	TIFFENEAU.
Thérapeutique	AUBERTIN.
Hygiène et médecine préventive	N...
Médecine légale	DUVOIR.
Histoire de la médecine et de la chirurgie	LIAN.
Pathologie expérimentale et comparée	Henri BENARD.
Hydrologie thérapeutique et climatologie	CHIRAY.
	ABRAMI.
	FIESSINGER.
Clinique médicale	HARVIER.
	PASTEUR-VALLÉRY-
	RADOT.
Hygiène et clinique de la première enfance	CATHALA.
Clinique des maladies des enfants	Robert DEBRÉ.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale.	LÉVY-VALENSI.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	GOUGEROT.
Clinique des maladies du système nerveux	GUILLAIN.
Clinique des maladies infectieuses	LEMIERRE.
	CADENAT.
Clinique chirurgicale	BROCC.
	QUÉNU.
	MONDOR.
Clinique ophtalmologique	VELTER.
Clinique urologique	CHEVASSU.
	N...
Clinique d'accouchements	N...
	PORTES.
Clinique gynécologique	MOCQUOT.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	LEVEUF.
Clinique thérapeutique médicale	LOEPER.
Clinique oto-rhino-laryngologique	LEMAITRE.
Clinique thérapeutique chirurgicale	SÈNEQUE.
Clinique propédeutique	M. VILLARET.
Clinique de la tuberculose	TROISIER.
Clinique chirurgicale orthopédique	MATHIEU.
Clinique de cardiologie	DONZELOT.
Clinique de neuro-chirurgie	Clovis VINCENT.
Assistance médico-sociale	N...
	DOGNON.
	GIROUD.
	HAZARD.
Professeurs sans chaire	JAYLE.
	JOANNON.
	OLIVIER.
	VERNE.

II. — AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.

AMELINE Pathologie chirurgicale.
 BARIÉTY..... Pathologie médicale.
 BERNARD (Etienne.) Pathologie médicale.
 BESANÇON (Justin.) Hydrologie.
 BONNET Bactériologie.
 BOULIN..... Pathologie médicale.
 BROUET..... Pathologie médicale.
 BULLIARD.... Histologie.
 CACHERA..... Pathologie médicale.
 CORDIER..... Anatomie.
 COSTE..... Pathologie médicale.
 COUVELAIRE (Roger). Urologie.
 DELARUE Anatomie pathologique.
 DELAY Pathologie médicale.
 DEGREGZ (H.)... Physique.
 DESOILLE..... Médecine légale.
 DIGONNET Obstétrique.
 DOGNON Physique.
 FEVRE Pathologie chirurgicale.
 FUNCK-BRENTANO. Pathologie chirurgi-
 cale.
 M^{lle} GAUTHIER-VILLARS. Anatomie pa-
 thologique.

MM.

GALLIARD Parasitologie.
 GARCIN..... Pathologie médicale.
 DE GENNES... Pathologie médicale.
 HAGUENAU... Pathologie médicale.
 LACOMME..... Obstétrique.
 LANTUÉJOUL. Obstétrique.
 LAVIER Parasitologie.
 LELONG..... Pathologie médicale.
 LEMAIRE Pathologie expérimentale.
 LENÈGRE Pathologie médicale.
 M^{lle} J. LÉVY ... Pharmacologie.
 MARCHAL Pathologie médicale.
 MÉNÉGAUX... Pathologie chirurgicale.
 MOLLARET... Pathologie médicale.
 MOUQUIN..... Pathologie médicale.
 PATEL Pathologie chirurgicale.
 RENARD..... Ophtalmologie.
 RICHEL..... Physiologie.
 SICARD Pathologie chirurgicale.
 SOULIE..... Pathologie médicale.
 SUREAU..... Obstétrique.
 TURPIN..... Pathologie médicale.
 WILMOTH Pathologie chirurgicale.

III. — AGRÉGÉS RAPPELÉS A L'EXERCICE

POUR LE SERVICE DES EXAMENS

MM.

ALGLAVE..... Pathologie chirurgicale.
 CHAILLEY-BERT Physiologie.
 GUÉNIOT..... Obstétrique.
 HEITZ-BOYER... Pathologie chirurgicale.
 HUGUENIN..... Anatomie pathologique.

MM.

LE LORIER..... Obstétrique.
 NEVEU-LEMAIRE. Parasitologie.
 PIÉDELIEVRE.. Médecine légale.
 VAUDESCAL.... Obstétrique.

IV. — AGRÉGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE

A TITRE PERMANENT

MM.		MM.	
ALAJOUANINE...	Clinique médicale.	BASSET	Clinique chirurgicale
BRULÉ		GATELLIER...	
CHEVALLIER...		de GAUDART	
LAROCHE Guy...		d'ALLAINES	
MOREAU		MOULONG UET	
SÉZARY		MOURE	

MM.	
ÉCALLE.....	Clinique obstétricale.
VIGNES.....	

V. — CHARGÉS DE COURS

MM.	
CHAILLEY-BERT, agrégé	Education physique.
LEDOUX-LEBARD	Radiologie clinique.
DECHAUME	Stomatologie.
N.	Puériculture.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MON PÈRE

A MA MÈRE

A TOUS LES MIENS

A MES AMIS

A MA FEMME

A LA MÉMOIRE DE MON AMI

GUY DE CHABANNES

Mort pour la France.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR TROISIER

Qui nous a fait le grand honneur de présider notre jury de thèse.

A MONSIEUR LE DOCTEUR BRAILLON

Médecin-chef du sanatorium Villemin

*Qui nous a donné l'idée de cette thèse.
Il a été pour nous un ami autant qu'un
exemple. Qu'il veuille bien trouver ici l'assurance
de notre profonde admiration.*

A NOS MAÎTRES DANS LES HOPITAUX

MONSIEUR LE PROFESSEUR GOSSET

MONSIEUR LE PROFESSEUR CLERC

MONSIEUR LE PROFESSEUR LEMIERRE

MONSIEUR LE PROFESSEUR OMBRÉDANNE

MONSIEUR LE PROFESSEUR MATHIEU

MONSIEUR LE PROFESSEUR GOUGEROT

MONSIEUR LE PROFESSEUR ROGER, de Marseille

MONSIEUR LE PROFESSEUR VAYSSIÈRES, de Marseille

MONSIEUR LE DOCTEUR BRODIN

MONSIEUR LE DOCTEUR RAMOND

MONSIEUR LE DOCTEUR BORDET

MONSIEUR LE DOCTEUR GIRAUD, de Marseille

A MES CONFRÈRES DU SANATORIUM VILLEMIN

Mesure de la Pression réelle intra-cavitaire et du Débit dans la Méthode de Monaldi

Appareils nouveaux et Méthode générale

INTRODUCTION

Considérée du point de vue mécanique, la méthode de Monaldi ne semble pas avoir suscité les recherches auxquelles on se serait attendu. La raison en est, sans doute, que le pneumothorax avait déjà fait entrer dans la médecine courante certaines notions relatives à la mécanique statique des fluides ; on eût alors tendance, plus ou moins consciemment à considérer comme déjà acquise la partie purement physique de la méthode.

Il existe cependant une différence fondamentale entre les deux traitements : alors que le pneumothorax utilise les gaz à l'état *statique*, les aspirations endocavitaires posent au contraire, dans leur grande majorité, un problème *dynamique*.

Rares sont en effet les cas où l'aspiration s'adresse à une caverne dont la bronche de drainage est fermée d'emblée : si cette oblitération reste le premier but et la première condition de la réussite, ce n'est le plus souvent qu'après des semaines ou des mois qu'elle sera obtenue ; à moins, cependant, qu'une perméabilité persistante de la bronche ne fasse interrompre le traitement.

Notre but sera de démontrer que, durant toute cette première phase, la pression intra-cavitaire est essentiellement différente de la pression mesurée à l'autre extrémité de la sonde. D'une étude expérimentale, nous arriverons à des lois et surtout à une méthode très générale pouvant être appliquée à la résolution de tous les problèmes du même ordre.

Dans la conduite même de l'aspiration endocavitaire, nous aboutissons à une règle mathématique déterminant les pressions qui doivent être réalisées au moyen du régulateur pour obtenir les pressions endocavitaires désirées.

Nous exposons ensuite les conséquences de cette méthode relatives à la définition d'une bronche conventionnelle, ainsi que deux applications immédiates à l'étude des perforations et de la bronche tuberculeuse.

Nous utilisons des appareils nouveaux, faciles à réaliser, dont nous allons donner la description. Auparavant cependant, nous ferons une mise au point très rapide du problème envisagé sous son angle purement physique.

RAPPEL PHYSIQUE

Perte de charge existant entre les deux extrémités d'une conduite parcourue par un fluide.

Supposons un tube cylindrique AB, de section constante et baignant dans l'atmosphère.

A l'une de ces extrémités B, on crée une dépression de valeur constante. Sous l'influence de cette force, une certaine quantité d'air va passer dans le tube par unité de temps ; la quantité qui s'écoule par seconde est le débit D.

Si nous mesurons alors la pression existant à cette extrémité B du tube au moyen d'un manomètre mis en dérivation, l'expérience nous apprend que cette pression, que nous appellerons P_r , est plus petite que la pression atmosphérique ; elle est donc différente de la pression P_e régnant à l'extrémité A qui est par hypothèse la pression atmosphérique même. Autrement dit, un travail a été fourni lors de la traversée du tube, il y a eu chute de pression entre ses deux extrémités : cette chute de pression est appelée *perte de charge* : nous la désignerons par la lettre R.

Si cette différence de pression est plus grande, le débit sera plus élevé, ou, si l'on veut, à un débit plus élevé correspondra une différence de pression, une perte de charge plus grande, ce qui peut s'exprimer sous la forme :

$$P_r - P_e = R = f(D) ;$$

Pour un tube donné, la perte de charge est fonction du débit.

C'est cette relation qui nous servira de point de départ, car, si nous remplaçons « tube » par sonde, si nous appelons P_e la pression endocavitaire et P_r la pression mesurée à l'autre extrémité de la sonde, nous nous trouvons dans les conditions mêmes de l'aspiration endocavitaire.

Cette relation est valable même dans le cas où la bronche de drainage est oblitérée : le débit D est alors nul,

$$R = P_r - P_e = 0$$

c'est dire que : $P_r = P_e$, ce qui exprime la valeur constante de la pression en tous les points de la sonde à l'état statique ; mais nous insistons à nouveau sur le fait que la pression n'est plus la même en tous les points dès qu'il y a écoulement, dès qu'il y a débit.

Mis à part ce débit, la perte de charge ne dépendra plus que du diamètre de la sonde, de sa longueur, de la nature de ses parois intérieures et il semblerait facile d'établir une formule théorique donnant la perte de charge en fonction de ces différents éléments. Mais :

Il est malheureusement fort difficile de donner une loi de perte de charge s'appliquant a priori à une conduite déterminée : d'abord une solution mathématique d'un tel problème est de toute évidence impossible : on ne peut donc faire appel qu'à des essais effectués sur des conduites plus ou moins « semblables » à la conduite projetée : ainsi s'exprime M. Adrien Foch dans son Introduction à la mécanique des fluides.

Nous nous sommes donc basés sur l'expérimentation, et ce n'est qu'après avoir vérifié par de nombreuses mesures l'exactitude des courbes obtenues que nous avons essayé d'établir les fonctions qu'elles représentaient.

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE

CHAPITRE I

Le débitmètre.

Il s'agit de déterminer la perte de charge existant entre les deux extrémités d'une sonde parcourue par un courant aérien en fonction du *débit* de ce courant.

Nous établirons en premier lieu une courbe de cette fonction pour une sonde déterminée, puis les courbes correspondant à des sondes de calibres, de longueurs et d'orifices différents. De ces courbes, nous essaierons de passer ensuite à une formule mathématique qui tienne compte de ces divers éléments.

La mesure du débit étant le temps capital de cette étude, nous commencerons par décrire le débitmètre que nous utilisons. Conçu par M. Braillon, il réalise également la source d'aspiration à pression constante indispensable.

Description.

Il est constitué (v. fig. II), par un flacon de 5 l. environ sur la paroi duquel on gradue les contenances de 100 cc. en 100 cc. Ce flacon présente, outre l'orifice supérieur, un orifice inféro-latéral qui doit être de diamètre aussi grand que possible.

— L'orifice inférieur se continue par un tube de verre (ou mi-verre mi-caoutchouc), du plus gros diamètre possible, de longueur variable avec l'ordre de pression désiré,

et dont l'extrémité inférieure plonge dans un verre placé lui-même dans une cuve.

— L'orifice supérieur est fermé par un bouchon percé d'un trou. Par ce trou passe en coulissant, sans trop de frottements, mais sans possibilité de pertes, un tube de verre dit *tube d'aspiration*. Le diamètre de ce tube doit être d'au moins $1/2$ cm. Sur le tuyau de caoutchouc adapté à ce tube d'aspiration est monté, en dérivation perpendiculaire, un manomètre à eau. Une pince placée sur ce tuyau permet d'isoler débitmètre et manomètre du reste de l'installation.

Fonctionnement.

Le flacon, le tube plongeant et le verre étant remplis d'eau, nous ouvrons la pince : l'eau qui s'écoule déborde du verre dans la cuve, des bulles d'air remontent de l'extrémité inférieure du tube d'aspiration pour venir se collecter à la partie supérieure du flacon et nous atteignons très rapidement un régime d'écoulement permanent.

Résultats.

A ce moment, les seules forces appliquées au système sont :

- le poids de la colonne d'eau d'une part,
- les forces de résistance à l'écoulement d'autre part.

La colonne d'eau dont le poids déclanche et entretient cet écoulement est mesurée par la hauteur H . Cette hauteur se définit comme étant la distance qui sépare le plan horizontal passant par l'orifice inférieur du tube d'aspiration du plan horizontal passant par l'orifice du verre.

H reste constant pendant la durée de l'écoulement (tant que le niveau de l'eau n'atteint pas l'extrémité inférieure du tuyau d'aspiration).

L'écoulement étant le résultat d'un équilibre entre le poids de cette colonne d'eau et les forces de résistance

on peut dire que ces dernières sont également constantes, ce qui revient à dire que cet écoulement se fait à pression (ou plus exactement à dépression) constante.

Mais les forces de résistance « consomment sur place » une partie du travail effectué par la colonne d'eau : la dépression Pr développée par le débitmètre à travers un système de conduites donné est donc plus petite que H . La valeur de H est égale à la dénivellation du manomètre si l'on ferme la pince, c'est une pression *statique*. Nous verrons plus loin que le débitmètre est le siège d'une perte de charge comparable à celles qui se produisent dans les sondes, et nous donnerons, sous forme de vérification, la relation qui unit ces pertes de charges aux débits.

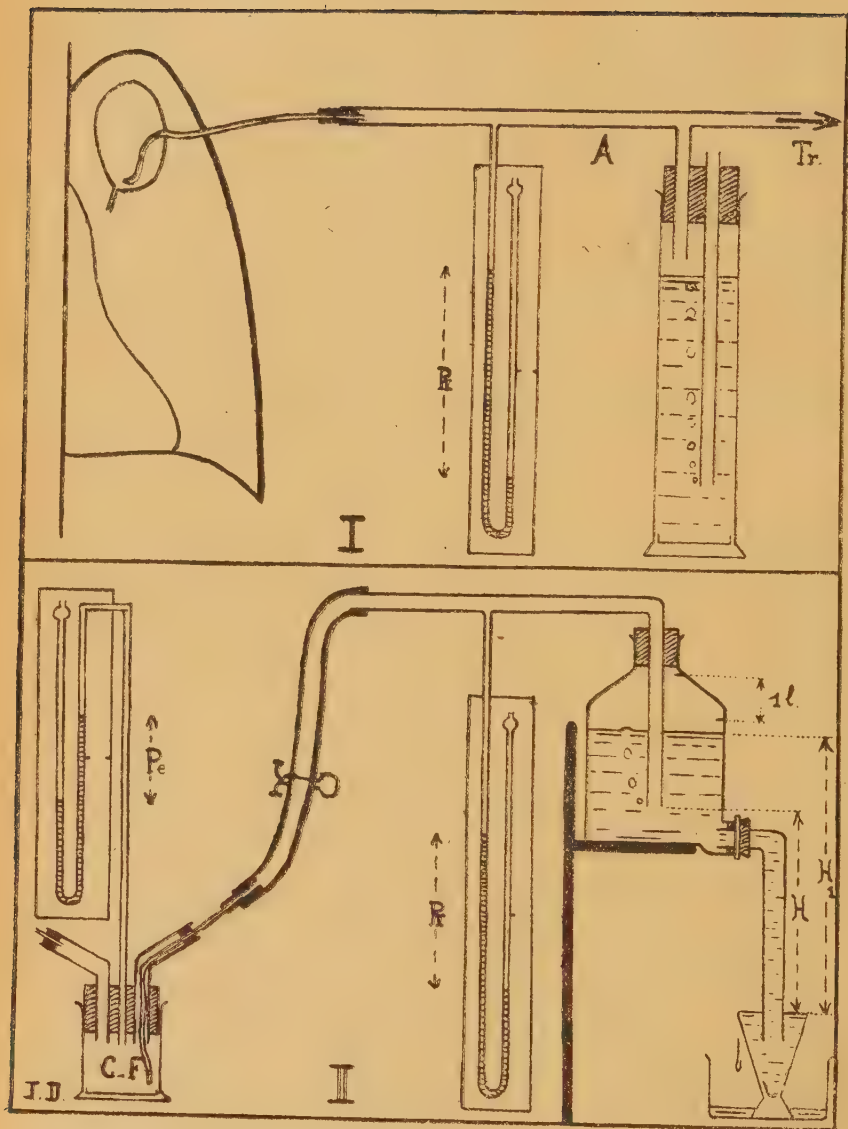
Lecture du débit.

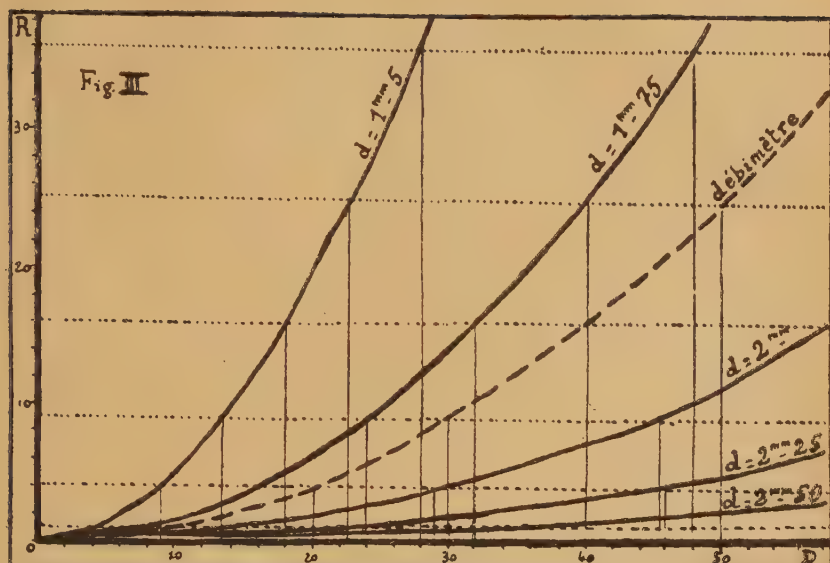
Au demeurant, notre but est d'obtenir une dépression *constante* durant l'écoulement, peu important ses rapports avec H puisque nous lisons cette pression Pr , directement sur le manomètre placé en dérivation.

Nous obtenons une gamme largement suffisante de pressions en augmentant ou diminuant H ; pour cela, nous réglons la longueur du tube plongeant de manière à ce que le manomètre nous donne une pression voisine de celle désirée, la pression exacte étant ensuite obtenue en faisant coulisser le tube d'aspiration.

La quantité d'air aspirée en un temps donné est directement lue sur les graduations portées sur la paroi du flacon. Pratiquement, nous chronométrons le nombre de secondes nécessaires à l'aspiration d'un litre d'air : l'erreur absolue due à l'appréciation des temps chronométrés devient alors négligeable pour l'ordre des débits rencontré.

Une plus grande précision serait obtenue par l'utilisation d'un chronomètre donnant le $1/5^e$ de seconde, et par la pesée de l'eau recueillie dans la cuve.





Correction des volumes.

Mais ce litre d'air est mesuré sous une pression variable par rapport à la pression atmosphérique, qui n'est ni H , ni Pr ; cette pression dépend uniquement de la hauteur totale, H_1 , de la colonne d'eau au moment où se termine l'écoulement du litre. Autrement dit, cette pression ne sera constante que si les lectures successives sont toujours faites entre les mêmes graduations du flacon. La loi de Mariotte nous permet alors de ramener ce volume à la pression atmosphérique.

Cependant, pour ne pas avoir à appliquer une première fois cette loi au volume d'air contenu dans le flacon au moment où débute l'écoulement du litre que nous voulons chronométrer, il est théoriquement nécessaire que le flacon soit rigoureusement plein d'eau au moment où commence la mesure. Pratiquement la présence d'une trentaine de centimètres cubes n'entraîne aucune erreur appréciable.

Nous effectuerons, en définitive, la lecture du litre à partir d'un trait placé à 2 ou 3 cm. en dessous du bouchon ce qui aura pour avantage de ne faire commencer la mesure qu'au moment où l'appareil est déjà lancé, c'est-à-dire lorsque la dépression atteint sa valeur définitive.

Il convient de noter en effet que les premiers centimètres cubes de l'écoulement sont consacrés non seulement à vaincre l'inertie de l'eau (et théoriquement de l'air) mais aussi à établir un régime de dépression constante dans l'ensemble des conduites reliées au débitmètre, ce régime est d'ailleurs atteint en moins d'une seconde. Une mesure commençant dès l'ouverture de la pince serait entachée d'une légère erreur de temps par excès.

En supposant prises ces différentes précautions, le volume Q de l'air mesuré sous la pression atmosphérique nous est donné par l'application de la loi de Mariotte :

$$P \dot{V} = Cte$$

soit, notre mesure ayant porté sur un litre :

$$Q \text{ 1034} = 1000 (1034 - H_1)$$

(1034 étant la pression atmosphérique mesurée en cm. d'eau.)

Ce qui nous donne en définitive :

$$Q = 1000 - H_1$$

si nous acceptons une erreur de 3 cc. pour une mesure ayant portée sur un litre, erreur négligeable par rapport à celles couramment commises lors de l'appréciation de l'écoulement.

En divisant par le temps t nous avons le débit :

$$D = \frac{1000 - H_1}{t}$$

H_1 étant mesuré à l'aide d'un mètre et exprimé en centimètres, t compté en seconde, le débit D est obtenu en centimètres cubes.

Exemple : supposons que le litre mette 45 secondes à s'écouler, et soit $H_1 = 100$ cm. :

$$D = \frac{1000 - 100}{45} = 20 \text{ cc.}$$

Une plus grande précision sera obtenue par la pesée de l'eau recueillie dans la cuve dans un temps t .

Soit q le poids de cette quantité d'eau : q représente également le volume de cette eau, c'est-à-dire, en définitive, le volume d'air aspiré mesuré sous la pression H_1 .

Q étant le volume de cet air sous la pression atmosphérique, l'application de la loi de Mariotte nous donne :

$$Q \cdot 1034 = q \cdot (1034 - H_1)$$

d'où :
$$Q = \frac{q \cdot (1034 - H_1)}{1034}$$

et
$$D = \frac{Q}{t} = \frac{q}{t} \cdot \frac{1034 - H_1}{1034}$$

Erreurs à éviter dans la réalisation du débimètre.

a) le diamètre du flacon ne doit pas être trop petit, sinon l'importance de la perturbation du niveau liquidien causée par les bulles d'air qui crèvent à la surface empêcherait toute lecture suffisamment précise du débit ;

b) le diamètre ne doit pas non plus être trop grand : en effet, on doit envisager, surtout pour les grands débits, la possibilité d'une erreur de 1 ou 2 mm. dans l'appréciation du passage du niveau liquide en regard des graduations du flacon ; il ne faut pas que cette erreur représente un nombre trop élevé de centimètres cubes ;

Un diamètre de 15 cm. environ représente un moyen terme entre ces deux exigences ;

c) nous avons vu précédemment la manière d'éviter toute erreur de mesure due à l'inertie du débimètre.

d) nous insistons à nouveau sur l'importance des diamètres des conduites destinées à livrer passage à l'eau (orifice inféro-latéral du flacon et tuyau plongeant) : en choisissant ces diamètres aussi grands que possible, nous réduirons considérablement la perte de charge due au débimètre même qui possédera alors un potentiel d'aspiration largement suffisant sans que nous soyons obligés d'augmenter exagérément H , ce qui entraînerait un encombrement gênant et pourrait représenter un grave danger lors des mesures effectuées sur le malade.

Autres appareils.

C'est dans le but de réduire au minimum cette perte de charge que nous avons envisagé un appareil dérivé du

précédent dont la résistance serait nettement plus faible mais dont le maniement serait plus délicat : l'écoulement de l'eau au lieu de se faire par l'intermédiaire d'un tube de verre ou de caoutchouc se ferait à « fond ouvert ». La partie inférieure de ce flacon sans fond étant immergée dans une cuve exactement pleine d'eau, Il serait alors égal à la distance séparant le plan horizontal de l'orifice inférieur du tuyau d'aspiration du plan de l'orifice de la cuve. Mais l'importance de cette cuve, qui devrait être assez profonde pour permettre le remplissage du flacon par immersion, entraînerait un encombrement considérable. D'autre part, la hauteur H serait forcément assez réduite et l'on perdrait en partie de ce côté les avantages que l'on gagnerait de l'autre.

Dans le but d'obtenir une approximation du débit en vue de la construction d'un débitmètre automatique, M. Fourés, de La Bruyère, avait, avant la guerre, donné du problème une solution élégante mais d'une exactitude insuffisante pour en déduire une courbe et à plus forte raison une formule. Après avoir réglé la trompe à eau de telle sorte que l'air affleure l'extrémité inférieure du tube immergé du régulateur courant, sans cependant laisser échapper de bulles, M. Fourés recueillait l'eau provenant de la trompe sous cloche et mesurait le volume de l'air ainsi entraîné. Mais les mouvements respiratoires du malade rendent pratiquement impossible le réglage de la trompe ; de plus la présence de gaz parasite dans le volume considérable d'eau qui traverse la trompe pendant la mesure ainsi que l'augmentation notable des chances de fuite rendent cette méthode impraticable pour une mesure précise.

CHAPITRE II

Perte de charge entre les deux extrémités d'une sonde en fonction du débit de l'air qui la parcourt.

A l'aide du débimètre, nous allons maintenant étudier la fonction :

$$R = f(D)$$

pour une sonde déterminée,

Nous essayerons d'attribuer à chacun des éléments constitutifs de cette sonde le rôle qui lui revient dans la production de la perte de charge R .

L'expérience nous montre rapidement que l'utilisation pour nos raccords d'un tuyau d'environ 1/2 cm. de diamètre n'entraîne aucune perte de charge supplémentaire.

Caractéristiques de la sonde.

Nous relèverons minutieusement les caractéristiques de la sonde que nous nous proposons d'étudier.

a) le *diamètre intérieur* : il n'y a aucun rapport en effet entre le diamètre extérieur et le diamètre intérieur : tout dépend de l'épaisseur de la lame de caoutchouc employée pour la fabrication. Il nous faut donc mesurer ce diamètre intérieur avec d'autant plus de soins que c'est au cours de cette mensuration que l'erreur sera la plus facile et la plus

lourde de conséquences. Nous employons la méthode suivante :

après avoir étiré un agitateur jusqu'à l'obtention d'un fil de verre progressivement aminci, nous introduisons l'extrémité amincie jusqu'au moment où un très léger frottement nous indique que le diamètre progressivement croissant de l'agitateur vient d'égaler le diamètre intérieur de la sonde. Nous marquons le niveau atteint et, après avoir retiré la sonde, nous mesurons le diamètre de notre cône de verre à l'endroit de la marque. On peut utiliser pour cela, soit le pied à coulisse (précision au $1/20^{\text{e}}$ de mm.), soit même le « palmer » (précision au $1/100^{\text{e}}$ de mm.) ;

b) la *longueur* : sa mesure ne présente aucune difficulté ; signalons cependant que cette longueur s'entend entre les orifices extrêmes et que, pour les sondes dont l'extrémité cavitaire se termine en pointe fermée, cette pointe n'entre pas dans la longueur que nous mesurons ;

c) *orifices* : on notera également la forme, les dimensions, la situation et le nombre des orifices cavitaires de la sonde ;

d) la *paroi intérieure* : ses irrégularités diffèrent assez peu d'une sonde à l'autre pour que son rôle mécanique reste le même pour toutes les sondes couramment utilisées ; ce rôle se traduira par un coefficient constant contenu dans le coefficient numérique de nos formules finales.

Le seul point délicat de ces mesures est l'appréciation du diamètre intérieur, nous insistons à nouveau sur la facilité avec laquelle on obtient des diamètres inexacts : il suffit pour cela d'ignorer une imperceptible dilatation de la sonde élastique, sollicitée par le cône de verre, qui témoigne d'une introduction trop avancée et entraîne la mesure d'un diamètre faux par excès. L'erreur, même minime, entraîne des résultats grossièrement erronés ; nous verrons en effet le diamètre intervenir dans les formules sous sa quatrième puissance.

Montage de l'ensemble débitmètre-sonde.

Le mode de raccord ne devra pas modifier le diamètre intérieur de cette sonde facilement déformable ; le plus simple est de l'introduire à frottement doux dans un tube de verre de calibre à peine inférieur au diamètre extérieur de la sonde. Sur ce tube de verre, de courte longueur, vient s'enfiler le tuyau de caoutchouc qui le relie au tube d'aspiration du débitmètre. C'est sur ce tuyau qu'est branché, en dérivation perpendiculaire, le manomètre.

L'extrémité libre de la sonde doit être placée de telle sorte qu'aucun objet, y compris la table sur laquelle elle repose, ne vienne faire obstacle à la rentrée de l'air par ses différents orifices. On évitera évidemment toute coudure.

L'ensemble ainsi monté, la perte de charge R existant entre les deux extrémités de la sonde pour un débit déterminé égale Pr , donné par simple lecture du manomètre.

En effet :

$$R = Pr - Pe$$

et Pe est par hypothèse la pression atmosphérique prise comme 0.

Influence du diamètre intérieur.

Pour étudier cette influence, nous avons utilisé un groupe de sondes de longueurs égales, semblables quant à leurs orifices cavitaires, mais de diamètres intérieurs différents.

La longueur constante que nous avons adoptée est de 30 cm., nous l'avons prise comme étant la longueur moyenne des sondes couramment utilisées.

Nous avons établi les courbes de pertes de charge R en fonction des débits D pour des sondes de 1 mm. 5, 1 mm. 75, 2 mm., 2 mm. 25 et 2 mm. 50 de diamètre intérieur.

Mesure : nous n'insisterons pas sur la manière de procéder. Nous avons mesuré pour chacune de ces sondes les débits en fonction des différentes pertes de charges obtenues par modification de H. Ces mesures ont porté sur des pertes de charge allant de 1 mm. à 40 cm. d'eau ; elles ont surtout été nombreuses pour les grandes valeurs de R qui, étant donnée la forme de la courbe, étaient les plus démonstratives.

Courbes obtenues : ces courbes sont construites en portant en abscisse les débits D mesurés en centimètres cubes, et en ordonnée les valeurs de la perte de charge R mesurées en cm. d'eau.

Nous avons représenté sur la figure III les courbes correspondant à des diamètres de sondes de 1 mm. 5, 1 mm. 75, 2 mm., 2 mm. 25 et 2 mm. 5. L'ensemble de ces courbes évoque des fonctions de la forme :

$$D \doteq k_1 \sqrt{R}$$

dans laquelle k_1 serait constant pour chaque sonde donnée.

ce qui nous est confirmé par la constance du rapport :

$$\frac{D}{\sqrt{R}}$$

pour une courbe donnée.

Formule : ce rapport nous permet de calculer la valeur de la constante k_1 pour les différentes courbes : pour les diamètres intérieurs étudiés, k_1 a respectivement pour valeur : 4,5 ; 8 ; 14,5 ; 23 et 35. La constante k_1 est d'autant plus grande que le diamètre est lui-même plus grand.

Mais les lois de Poiseuille nous apprennent que le débit est proportionnel à la puissance 4 du diamètre : k_1 peut donc se décomposer en un produit de deux fac-

teurs l'un étant le diamètre à la puissance 4 : (d^4) de la sonde considérée, l'autre étant une nouvelle constante K. La relation s'écrit alors :

$$D = K d^4 \sqrt{R}$$

Connaissant d^4 et k_1 il nous est facile de calculer K :

$$k_1 = d^4 \cdot K \text{ d'où } K = \frac{k_1}{d^4}$$

ce qui nous donne en définitive le tableau suivant pour des sondes de 30 cm. de long et d'orifices cavitaires déterminés :

$d = 1 \text{ mm. } 5$	$d^4 = 5$	$k_1 = 4,5$	$K = 0,9$	$D = 0,9 d^4/R$
$d = 1 \text{ mm. } 75$	$d^4 = 9$	$k_1 = 8$	$K = 0,9$	$D = 0,9 d^4/R$
$d = 2 \text{ mm.}$	$d^4 = 16$	$k_1 = 14,5$	$K = 0,9$	$D = 0,9 d^4/R$
$d = 2 \text{ mm. } 25$	$d^4 = 25,5$	$k_1 = 23$	$K = 0,9$	$D = 0,9 d^4/R$
$d = 2 \text{ mm. } 5$	$d^4 = 39$	$k_1 = 35$	$K = 0,9$	$D = 0,9 d^4/R$

Pour la simplicité des calculs, nous n'avons pas tenu compte des décimales n'entraînant qu'une erreur relative inférieure au 1/100^e.

Ce résultat est conforme à la logique : une sonde de longueur, de forme et de matière déterminés, parcourue par l'air, présente entre ses deux extrémités une perte de charge qui ne dépend que du débit de l'air et du diamètre intérieur de la sonde. La relation entre ces trois grandeurs s'écrit :

$$D = 0,9 d^4 \sqrt{R}$$

Cette formule n'est pas d'une rigueur mathématique absolue mais elle ne nous a jamais donné d'erreur dépassant pour R le 1/2 cm. et pour D une dizaine de centimètres cubes.

Influence de la longueur.

Nous utilisons cette fois-ci des sondes de diamètre constant, semblables quant à leur extrémité endocavitaire, mais de longueur variable (L).

Une série d'expériences conduites suivant la méthode utilisée pour le diamètre nous conduit à des courbes et à une nouvelle décomposition de la constante 0,9 en une variable $\left(\frac{1}{\sqrt{L}}\right)$, et une autre constante que nous trouvons égale à 5.

La formule devient :

$$D = 5 d^4 \frac{\sqrt{R}}{\sqrt{L}}$$

D étant mesuré en centimètres cubes, d en mm., R en cm. d'eau et L en cm.

Le manque d'homogénéité des unités dans la formule nous a été suggéré, dans un but de simplification des calculs, comme étant des résultats directs des mensurations effectuées.

Influence des orifices.

Cette influence est négligeable comme le prouve l'identité des débits fournis par les deux moitiés d'une même sonde pour une même perte de charge entre leurs extrémités.

Cela n'est évidemment vrai que pour les sondes de modèle courant, c'est-à-dire pour lesquelles les orifices de l'extrémité cavitaire sont suffisamment gros ou nombreux pour ne pas ajouter une perte de charge parasite. A titre d'indication, nous n'avons pu déceler aucune différence de débit (la mesure ayant porté sur plusieurs litres d'air)

lorsque la superficie totale des orifices, même latéraux, même en paroi épaisse, égale le double de la section droite de la sonde étudiée.

Autres facteurs.

Nous avons vu que le fluide circulant, c'est-à-dire l'air, et la nature des parois de la sonde n'interviennent dans la formule que par une constante incluse dans la constante numérique que nous avons obtenue (0,9 ou 5 suivant les formules employées).

Formule définitive.

Son maniement plus facile et sa précision plus grande nous font conseiller l'utilisation de la relation :

$$D = 0,9 d^4 \sqrt{R}$$

et pour cela l'utilisation exclusive de sondes de 30 cm. de long.

Nous écrirons cette formule :

$$\sqrt{R} = \frac{D}{0,9 d^4}$$

pour une sonde de 30 cm.

La perte de charge est obtenue en cm. d'eau, si D est mesuré en centimètre cubes, et d en millimètres.

Répetons qu'il ne s'agit pas là d'une formule mathématique rigoureuse, mais d'une relation établie expérimentalement. Sa précision est suffisante pour ne pas entraîner d'erreur plus grande que le 1/4 de cm. dans le calcul de la perte de charge.

CHAPITRE III

Première vérification.

Sous ce titre, nous allons faire un retour en arrière et évaluer la perte de charge due à notre débitmètre.

Cette étude expérimentale nous conduira à une seconde méthode de mesure de R , mais cette méthode sera plus compliquée que la première, c'est dire que ce chapitre n'intéresse que ceux qui nous ont suivis pas à pas dans l'établissement des formules précédentes. Il n'en sera pas fait mention lorsque nous parlerons des mesures effectuées sur le malade, cette manière de procéder n'ayant, à part son intérêt de vérification, qu'une valeur spéculative.

Perte de charge dans le débitmètre.

Le calcul de cette perte de charge peut être effectué suivant la méthode déjà utilisée pour les sondes : établissement d'une courbe des pertes de charge en fonction des débits, déduction d'une formule.

Pour cela, mettons l'appareil en communication directe avec l'atmosphère, c'est-à-dire débranchons la sonde et ne conservons que le tube d'aspiration, le tuyau de caoutchouc de raccord et le manomètre en dérivation. La pression à l'extrémité de ce tuyau est la pression atmosphérique, c'est également la pression atmosphérique que nous donnera le manomètre : pour les débits étudiés en effet, la perte de charge réalisée entre l'extrémité atmosphérique

du tuyau de raccord et le point d'implantation de la dérivation du manomètre est pratiquement nulle; nous pouvons donc écrire :

$$Pr = 0$$

La pression qui devrait exister s'il n'y avait pas de perte de charge dans notre appareil est exactement mesurée par la hauteur H précédemment définie : c'est exactement une pression égale à H que nous donne le manomètre si nous isolons l'ensemble du système en fermant la pince. H représente la dépression que le débitmètre est capable de fournir à l'état *statique*; mais, lorsque le débit s'établit et augmente, les forces de résistance, génératrices de la perte de charge, apparaissent et croissent également : le « potentiel de dépression » du débitmètre décroît et devient même égal à 0 si nous laissons s'établir le débit maximum possible. A ce moment, la perte de charge du débitmètre pour le débit considéré, est égale à :

$$R = H - 0 = H$$

Il nous suffit donc d'établir une courbe des débits en fonction des différentes valeurs de H correspondantes : cette courbe (en pointillé fig. III) est également de la forme :

$$D = k\sqrt{H} \text{ (puisque } R = H)$$

Mais k est inversement proportionnel aux forces de résistances : il est d'autant plus grand que ces forces sont plus petites ; ce fait appelle deux remarques :

1^o *valeur réelle de k* : pour l'établissement de notre courbe, nous avons pris différentes valeurs de H ; pour obtenir ces valeurs, nous avons fait varier la longueur du tuyau plongeant ou tout au moins la longueur du tuyau d'aspiration immergée dans l'eau, et par cela même nous avons

modifié les forces de résistances c'est-à-dire indirectement k . Pour pouvoir admettre que k est pratiquement constant, il faut limiter notre expérimentation à des valeurs de H relativement voisines ou s'aider d'artifices de construction sur lesquels nous n'insisterons pas. La relation

$$D = k\sqrt{R}$$

n'est donc pas rigoureusement exacte lorsque nous l'appliquons au débitmètre. Cependant avec les précautions que nous venons d'énumérer, l'erreur qui résulte de son emploi est négligeable.

2° *limite pratique de débit* : cela revient à dire qu'il existe une limite pratique aux pertes de charges réalisables par notre débitmètre entre les extrémités d'un système de conduites donné.

En effet, la valeur maxima de D dépend des valeurs maxima des deux facteurs H et k .

— H est limité par l'encombrement que représenterait la réalisation d'une colonne d'eau trop élevée ; en se plaçant à un point de vue purement expérimental, une valeur de H voisine de 170 cm. nous semble être un maximum.

— k également semble ne pas pouvoir être indéfiniment augmenté : même l'utilisation de grosses conduites ne fait pas entièrement disparaître les forces de résistances.

Pour le maximum de H fixé, nous n'avons pu obtenir une valeur de k supérieure à 10.

Au total, le débit maxima pratique = $10\sqrt{170} = 130$ cc.

Ce débit est largement suffisant, il dépasse de beaucoup les débits rencontrés au cours de la méthode de Monaldi et nous n'avons jamais eu en pratique à réaliser pour H des valeurs aussi élevées.

Seconde méthode de mesure et vérification.

La perte de charge du débitmètre permet en quelque sorte de l'assimiler, du point de vue de cette perte de charge, à une sonde. Nous pouvons par exemple aisément calculer le diamètre de la sonde de 30 cm. de long qui correspond à un débitmètre pour lequel $D = 10 \sqrt{R}$; il suffit de poser :

$$0,9 d^4 = 10 \quad \text{d'où} \quad d = 1 \text{ mm. } 83.$$

La perte de charge due à notre débitmètre est identique à celle qui existerait entre les deux extrémités d'une sonde de 30 cm. de long et de 1 mm. 83 de diamètre parcourue par un courant aérien de débit égal à celui de notre débitmètre.

Cet exemple va rendre plus facile à comprendre la seconde méthode de mesure de la perte de charge, entre les deux extrémités d'une sonde, que nous allons maintenant rapidement exposer.

Dans cette méthode nous supposons le débitmètre préalablement étalonné, c'est-à-dire que nous avons la courbe ou la formule qui le caractérise : supposons, par exemple, que cette formule soit $D = 10 \sqrt{R}$, et que sa courbe soit celle figurée en pointillé sur la figure III.

Effectuons maintenant nos mesures de débit après avoir branché la sonde à étudier, en ne retenant, pour chaque mesure que la valeur du débit et celle de H correspondante.

Nous ne nous servons pas de manomètre, H étant déterminé par une mesure directe sur l'appareil au moyen d'un mètre. Nous obtiendrons pour chaque sonde étudiée une courbe : chaque point de cette courbe donne la somme des pertes de charges dues au débitmètre et à la sonde pour le débit considéré ; il nous suffit de retrancher celle due au débitmètre pour obtenir la perte de charge qui revient à la sonde. Nous avons ainsi une seconde méthode d'étalon-

nage pour nos sondes qui confirme et vérifie la première.

Exemple : soit un ensemble débimètre-sonde dans lequel le débimètre présente les caractéristiques précédemment supposées ; soit 1 mm. 75 le diamètre intérieur de la sonde ; soit enfin 40 cc. le débit obtenu pour une valeur de H égale à 41. Quelle est la perte de charge entre les deux extrémités de cette sonde ?

La courbe du débimètre (v. fig. III) ou sa formule nous apprennent que la perte de charge du débimètre qui correspond à un débit de 40 cc. est de 16. Autrement dit, 16 des 41 cm. de H sont consacrés au fonctionnement de l'appareil lui-même ; le reste, soit 25 cm., représente la perte de charge de la sonde c'est bien ce que nous apprenait la courbe de la sonde de 1 mm. 75 de diamètre ou la formule générale, réalisées toutes deux sous le contrôle du manomètre.

CHAPITRE IV

Ensemble débimètre, sonde, caverne-flacon.

Nous allons compléter la similitude existant entre nos mesures expérimentales et les mesures telles que nous aurons à les pratiquer chez le malade traité par la méthode de Monaldi par l'adjonction d'un nouvel élément : la caverne-flacon.

La caverne-flacon.

Elle est constituée (v. fig. II) par un flacon d'une capacité voisine de 200 cc., fermé par un bouchon percé de trois trous.

Par le trou central passe un tube de verre relié à un manomètre qui nous donne la pression P_e existant à l'intérieur du flacon.

Par chacun des trous latéraux, symétriques, passe un tube de verre d'environ 1 cm. de diamètre ; dans l'un de ces tubes passe la sonde, reliée comme précédemment au débimètre. L'étanchéité est assurée par une gaine de caoutchouc bouchant hermétiquement l'espace compris entre le tube et la sonde sans toutefois comprimer cette dernière.

Ainsi montée, nous avons la reproduction théorique d'une caverne traitée par aspiration ; le second tube latéral tient lieu de bronche de drainage, mais ses dimensions et en particulier son diamètre sont trop considérables : nous

le fermerons par un bouchon percé d'un trou dans lequel nous pourrions introduire des tubes métalliques fins de diamètres variables. Ce faisant, nous créerons au niveau de cet orifice lors de la mise en dépression du système, une perte de charge suffisante pour être traduite dans la caverne par une pression, (P_e), négative ; pression dont le manomètre nous donnera la valeur.

Vérification de la constance de la perte de charge due à la sonde quelle que soit la pression cavitatoire.

On peut se demander, en effet, si la courbe des pertes de charge en fonction des débits reste la même dans le cas où la perte de charge est mesurée par une différence entre deux pressions fortement négatives ; autrement dit, a-t-on le même débit pour une différence de pression de 0 à — 10 que pour une différence de — 20 à — 30 ? L'hypothèse semble vraisemblable, notre caverne-flacon permet d'en démontrer l'exactitude pratique : les pressions $P_e = -20$ dans la caverne-flacon et $P_r = -30$ au niveau du débimètre seront réalisées d'une part par modification du diamètre du tube métallique jouant le rôle de bronche de drainage, et d'autre part en faisant varier H . Bien qu'obtenues par des tâtonnements successifs, les pressions désirées seront réalisées rapidement. Le débit mesuré dans ces conditions est bien identique au débit mesuré entre 0 et — 10 lors de nos premières expériences.

Volume de la caverne-flacon.

On constate facilement que le volume de la caverne ne modifie en rien les résultats obtenus : la présence d'une quantité d'eau allant presque jusqu'à remplir notre flacon est sans influence sur les mesures.

La seule conséquence, toute théorique d'ailleurs, est l'inertie plus grande que présentera le système en regard des variations de pression obtenues à partir du débitmètre ; pour nous qui effectuons nos mesures à pression constante, l'intérêt de cette minime augmentation d'inertie réside uniquement dans la fraction de seconde supplémentaire qui sera nécessaire au système pour adopter un régime permanent après l'ouverture de la pince ; les précautions précédemment indiquées pour éliminer l'inertie de base du système sont largement suffisantes pour couvrir cette inertie supplémentaire.

Notion de bronche conventionnelle.

Nous venons de voir que, pour obtenir la dépression désirée dans la caverne-flacon, il suffisait de créer au niveau de l'orifice qui la met en relation avec l'atmosphère une perte de charge suffisante, c'est-à-dire de faire varier le diamètre du tube métallique qui traverse le bouchon de cet orifice.

Si nous ne considérons que la pression intra-cavitaire P_e donnée par le manomètre en relation avec la caverne-flacon, nous voyons que, pour un débit donné, P_e est fonction du diamètre de cet orifice ; ou encore en inversant l'énoncé de ce fait : à un débit donné et à une pression intra-cavitaire connue correspondent des dimensions déterminées de notre tube métallique. Le diamètre étant de beaucoup la dimension la plus importante aussi bien du point de vue purement numérique que du point de vue comparaison clinique, nous avons été amenés à définir aussi bien la nature des parois intérieures que la longueur de notre tube, ne laissant comme variable que son diamètre.

Notre bronche conventionnelle se définit donc comme suit : c'est un tube cylindrique, à parois intérieures lisses

(verre ou métal), long de 1 cm. et de diamètre intérieur variable.

Reste encore à donner un moyen d'évaluer ce diamètre. La courbe des pertes de charge en fonction des débits va nous le fournir. Cette courbe est en effet de la forme :

$$D = k \sqrt{R}$$

$$\text{c'est-à-dire } D = k \sqrt{Pe}$$

puisque la pression à l'autre extrémité du tube métallique est la pression atmosphérique prise comme 0.

Plusieurs centaines de mesures conduites suivant la méthode qui nous a déjà servi pour étalonner nos sondes nous ont finalement amenés à admettre cette formule définitive :

$$D = 7 d^4 \sqrt{Pe}, \text{ c'est-à-dire :}$$

$$d^4 = \frac{D}{7 \sqrt{Pe}}$$

d est obtenu en mm. si D est mesuré en centimètres cubes et Pe en centimètres d'eau.

Le calcul de d connaissant d^4 est facile à l'aide d'une table de logarithmes, en l'absence de celle-ci on pourrait obtenir le résultat cherché par tâtonnement. Pour simplifier les calculs, nous donnerons à la fin de ce chapitre une gamme de diamètres intérieurs allant de 0 mm. 50 à 3 mm. accompagnés de leur puissance quatrième.

Enfin, à ceux qui demeureraient hostiles à l'emploi de formules, nous conseillons la lecture directe au moyen des courbes de la figure IV ; nous donnerons le mode d'emploi de ces courbes lorsque nous exposerons les mesures pratiquées sur le malade même.

Intérêt de la bronche conventionnelle.

Il nous semble considérable : pour la première fois nous possédons un témoin fidèle de l'état de la bronche de drainage. Nous allons pouvoir suivre au cours de l'aspiration l'évolution de cet élément capital dont l'oblitération est la première condition de la réussite du traitement ; cette simple mesure nous permettra d'éviter bien des erreurs, de comprendre bien des échecs dont nous reparlerons quand nous exposerons les résultats généraux de cette étude.

Vérification.

Cette seconde vérification sera réalisée par l'utilisation d'un système de sondes et de manomètres conçu par M. Braillon et basé sur le principe suivant : étant donné un système de 2 sondes semblables mises bout à bout, la perte de charge d'un courant gazeux dans l'ensemble du système est le double de la perte de charge occasionnée par chacune des sondes.

La vérification, très simple, sera donnée par la lecture simultanée de trois manomètres : un en dérivation à chaque extrémité du système, le troisième, également en dérivation perpendiculaire entre les deux sondes. Si nous avons — 10 à l'une des extrémités et — 50 à l'autre, le manomètre central indique bien — 30, ce qui peut également s'exprimer ainsi : étant donné un système de 2 sondes semblables, parcouru par un fluide gazeux, on peut, connaissant deux des pressions précédentes, calculer la troisième. Le but est évidemment de calculer la pression la plus faible, celle qui correspond à la pression cavitaire :

soit a la pression à l'extrémité cavitaire du système ;
soit b la pression existant entre les deux sondes ;

soit c la pression à l'extrémité du système relié à la trompe aspirante (ou à tout autre appareil créant une aspiration constante) :

b est la moyenne arithmétique entre a et c :

$$b = \frac{a + c}{2}$$

c'est à dire $a + c = 2b$

ou enfin : $a = 2b - c$

Théoriquement simple et précise, cette méthode présente cependant plusieurs inconvénients qui nous l'ont faite rejeter :

— son application à des mesures effectuées sur le malade entraînerait la mise en place d'une installation délicate qui devrait être renouvelée à chaque mesure.

— On ne peut, sans utiliser le débimètre, établir la perte de charge d'une sonde donnée *a priori* : l'utilisation simultanée de deux sondes semblables reste perpétuellement nécessaire ; ce qui impose un jeu de 2 sondes exactement semblables qu'il est parfois très difficile de réaliser, surtout si les mesures portent sur plusieurs malades à la fois.

— Enfin, la notion de bronche conventionnelle se dégage plus difficilement d'une telle méthode, qui obligerait l'expérimentateur à comparer des tubes de nature, de longueur et de diamètre différents d'où une difficulté plus grande pour l'obtention de formules. Ces formules, ne contenant pas la notion de débit, rendraient de plus la bronche de drainage solidaire du diamètre de la sonde puisque ce n'est que par rapport à l'une que l'on pourrait évaluer l'autre.

Tous ces inconvénients disparaîtraient par l'utilisation du débimètre, mais alors les trois manomètres et les deux

sondes semblables représenteraient une complication inutile.

Telle que, cependant, cette méthode élégante nous a permis une vérification précise de la plupart de nos mesures qu'elle a confirmées.

Voici à titre indicatif les puissances quatrièmes des diamètres allant de 0 mm. 50 à 3 mm. et échelonnés de 0 mm. 25 en 0 mm. 25 :

$d = 0,50 : d^4 = 0,063$	$d = 1,50 : d^4 = 5$	$d = 2,50 : d^4 = 39$
$d = 0,75 : d^4 = 0,317$	$d = 1,75 : d^4 = 9$	$d = 2,75 : d^4 = 57$
$d = 1 : d^4 = 1$	$d = 2 : d^4 = 16$	$d = 3 : d^4 = 81$
$d = 1,25 : d^4 = 2,43$	$d = 2,25 : d^4 = 25,5$	

DEUXIÈME PARTIE

MESURES PRATIQUÉES
SUR LE MALADE

CHAPITRE I

De la similitude exacte qui existe entre les mesures expérimentales précédentes et les mesures cliniques à effectuer.

Il s'agit en effet de savoir si les résultats que nous venons d'obtenir peuvent s'appliquer aux mesures effectuées sur le malade.

Nous avons suffisamment insisté sur les détails de l'expérimentation pour que cette similitude soit, en gros, évidente ; nous voulons encore cependant préciser deux points importants.

Pression intra-bronchique.

Au cours de nos expériences, la pression en *amont* de la bronche conventionnelle était la pression atmosphérique, et l'on peut se demander s'il en est de même pour la bronche de drainage réelle ; en effet. P_e ne représente à lui seul la perte de charge que si la pression à l'autre extrémité du système est la pression atmosphérique prise comme 0 ; c'est la condition nécessaire et suffisante pour que nos courbes et formules soient applicables.

Il ressort des mesures que nous avons effectuées au cours de bronchoscopie et au moyen d'une sonde à lipiodol que la pression *moyenne* existant dans les bronches lobaires est égale à la pression atmosphérique ; mais, n'ayant évidem-

ment pas pu pratiquer de mesure à l'entrée même de la bronche de drainage, nous sommes amenés maintenant à définir exactement la portion de l'arbre bronchique que nous prétendons représenter par notre bronche conventionnelle.

Signification de la bronche conventionnelle.

Nos courbes et formules seront applicables si nous entendons représenter par notre bronche conventionnelle la portion de l'arbre bronchique comprise entre la caverne d'une part, et le point le plus proche de la caverne où règne encore une pression moyenne égale à la pression atmosphérique d'autre part.

Défini en ces termes, l'équivalent anatomique de la bronche conventionnelle représente pratiquement la bronche de drainage réelle : en effet, si l'on tient compte du fait que la longueur intervient dans la perte de charge suivant une relation linéaire tandis que le diamètre joue à sa puissance *huitième*, on réalisera le peu d'importance relative de la longueur et l'on comprendra que la partie la plus étroite, la plus distale de l'arbre bronchique (la bronche de drainage par conséquent) ait, seule, une influence réelle sur cette perte de charge. Inversement par conséquent, une perte de charge connue témoignera mathématiquement du diamètre de la partie la plus rétrécie, c'est-à-dire nous donnera le diamètre de la bronche de drainage.

Au surplus, nous n'avons pas la prétention de donner une reproduction matérielle de la bronche de drainage, mais nous voulons simplement donner un témoin fidèle de son degré d'oblitération en insistant sur le fait que la variation du diamètre de ce témoin au cours de mesures successives traduit exactement l'existence ou non d'une tendance à l'oblitération de la bronche de drainage réelle.

CHAPITRE II

Mesures effectuées sur le malade.

Avant d'indiquer la manière de procéder, nous exposons les précautions à prendre avant d'effectuer des mesures.

Le malade.

Nous ne pouvons les pratiquer chez un malade dont l'aspiration cavitaire est trop récente, il est indispensable de laisser passer la première période d'écoulement du pus qui n'excède d'ailleurs pas une semaine.

Il conviendra de vérifier que la bronche de drainage n'est pas oblitérée d'emblée, ce qui, répétons-le, est rare.

Enfin, on s'assurera que l'orifice cutané ne laisse pas rentrer une certaine quantité d'air qui viendrait s'ajouter à celui provenant réellement de la bronche de drainage. Une pommade aseptique appliquée localement arrêterait, pendant la durée de la mesure, cette fuite d'ailleurs exceptionnelle.

La sonde.

Au moment où elle est mise en relation avec le débitmètre, la sonde doit être d'une propreté aussi rigoureuse que possible : soit qu'elle vienne d'être remise après avoir été nettoyée, soit que, comme le font encore certains auteurs, on l'ait lavée *in situ* avec quelques centimètres cubes de sérum physiologiques.

On vérifiera à la radioscopie qu'elle ne présente pas de plicature et que son extrémité n'est pas « écrasée » contre le parenchyme pulmonaire.

Si l'on se sert de la formule on mesurera, avec toute la minutie sur laquelle nous avons insisté, son diamètre

intérieur ; il est en effet plus commode d'effectuer cette mesure avant de mettre la sonde en place.

On effectuera également cette mesure du diamètre si l'on a l'intention de se servir des courbes de la figure III soit que ce diamètre corresponde à l'un de ceux que nous avons étudiés, soit que l'on veuille procéder par comparaison ainsi qu'il sera indiqué plus loin.

Enfin, si l'on ne veut utiliser ni la formule ni les courbes préétablies, on effectue 8 à 10 mesures précises des débits correspondants à des pertes de charges allant de 1 à 10 cm. d'eau ; on porte en ordonnée les différentes pertes de charges trouvées et en abscisse les valeurs des débits correspondants : les 8 à 10 points ainsi déterminés sont suffisamment espacés pour permettre un dessin précis de la courbe de la sonde étudiée. Pour les détails de cette opération, nous renvoyons le lecteur au chapitre II de la première partie.

Nous supposons dans la suite de cet exposé que les sondes utilisées ont la longueur standard de 30 cm.

Montage et mesure du débit.

La sonde sera mise en relation avec le débimètre par l'intermédiaire d'un court tube de verre dans lequel elle pénètre à frottement doux ; ce tube de verre est raccordé au débimètre même par un tuyau de caoutchouc sur lequel est branché en dérivation le manomètre (v. fig. II).

On remplit complètement le débimètre d'eau, on ouvre la pince et l'on chronomètre le temps nécessaire au passage de un litre d'eau, la lecture étant faite entre les deux marques placées sur la paroi du flacon comme il a été expliqué page 15.

Pour une lecture portant sur un litre, la formule donnant le débit est, nous l'avons vue :

$$D = \frac{1000 - H_1}{t}$$

dans laquelle t est mesuré en secondes, et H_1 représente, en centimètres, la hauteur totale de la colonne d'eau comprise entre l'orifice du verre et le niveau de l'eau au moment où finit l'écoulement du litre chronométré.

Si l'on procède par pesée nous avons vu que la formule devient :

$$D = \frac{q}{t} \cdot \frac{1034 - H_1}{1034}$$

q étant le poids de l'eau en grammes, t le temps en seconde, et H_1 étant défini comme précédemment.

La pression Pr donnée par le monomètre sera dans les deux cas notée au cours de l'écoulement.

Cette manière de procéder subira de légères modifications suivant que nous chercherons à déterminer le diamètre de la bronche conventionnelle, la pression réelle endocavitaire ou la pression qui devra être réalisée au régulateur pour obtenir une pression endocavitaire donnée. Nous signalerons ces modifications en même temps que nous donnerons la marche de ces différents calculs à chacun desquels nous consacrerons un paragraphe.

Détermination de la pression intra-cavitaire réelle.

Par cette mesure très simple on se rendra compte de la différence parfois considérable qui sépare la dépression réalisée par le régulateur ordinaire de la figure 1 de la dépression existant dans la caverne.

Au cours d'un écoulement préliminaire, on règle H de façon à obtenir au manomètre une dépression égale à celle qu'on avait coutume de réaliser au moyen du régulateur, soit Pr cette pression. On remplit à nouveau le débimètre d'eau et on effectue la mesure du débit D comme il a été indiqué. Nous avons :

$$Pr - Pr = R$$

d'où $Pe = Pr - R$; Pe étant la pression endocavitaire et R

la perte de charge due à la sonde utilisée. La détermination de la seule inconnue R peut se faire soit par les courbes, soit par la formule :

a) *par la courbe* : par le point d'abscisse D, on mène une perpendiculaire à cet axe des débits qui coupe la courbe en un point. Une parallèle menée par ce point à l'axe des débits coupera l'axe des pertes de charge en un point dont l'ordonnée sera la valeur de R cherchée.

La relation $Pe = Pr - R$ donne alors immédiatement Pe.

b) *par la formule* : nous avons vu que

$$\sqrt{R} = \frac{D}{0,9 d^4}$$

nous en tirons :

$$Pe = Pr - \left(\frac{D}{0,9 d^4} \right)^2$$

Exemple : soit une sonde de 1 m. 75 de diamètre intérieur que l'on a coutume d'utiliser avec une dépression de — 20 chez un malade donné. Le débit mesuré chez ce malade, après avoir égalé Pr à — 20 est de 32 cmc. ; quelle est la valeur de la dépression cavitaire ?

a) *par la courbe* : la figure III donne la construction à effectuer : pour un tel débit, la perte de charge entre les deux extrémités de la sonde est de 16 : de la dépression de — 20, il ne « reste » donc que — 4 à l'extrémité endo-cavitaire de la sonde !

b) *la formule* donne de même ;

$$Pe = 20 - \left(\frac{32}{0,9 ; 9} \right)^2 = 16 = 4$$

Ce résultat peut sembler étonnant il n'en est pas moins

très-courant ; on croit avoir — 20 dans la caverne et l'on a — 4 !

Si nous n'avons pas de courbe pour la sonde étudiée, soit parce qu'une sonde de ce diamètre n'est pas représentée par une des courbes que nous donnons figure III, soit parce que l'on a pas eu le loisir d'en construire une avant la mise en place de la sonde, il existe un moyen d'apprécier R sans avoir recours à la formule, uniquement en connaissant le diamètre intérieur de la sonde utilisée ; il suffit d'imaginer la forme de la courbe en prenant comme repère, parmi les courbes de la figure III celle dont le diamètre est immédiatement supérieur et celle dont le diamètre est immédiatement inférieur à celle étudiée : la courbe est alors relativement facile à imaginer entre elles deux et l'approximation peut être suffisante.

Détermination du diamètre de la bronche conventionnelle.

Si nous avons déjà trouvé une valeur de Pe correspondant à un débit D donné, nous utiliserons ces valeurs de Pe et de D ; sinon nous pratiquerons une mesure du débit pour une valeur quelconque de Pr , en ne retenant que la valeur correspondante de Pe . Comme nous l'avons vu cependant, nous arriverons à mesurer les diamètres de bronches conventionnelles d'autant plus grands que le débit sera lui-même plus rapide : il sera donc souhaitable d'effectuer les mesures pour une valeur de Pr aussi grande que possible. La prudence ou la technique de chacun déterminera ce maximum.

Ayant donc Pe et D , le diamètre d de la bronche conventionnelle peut lui aussi être trouvé par l'usage des courbes ou l'utilisation des formules.

a) *par les courbes* : on détermine sur la figure IV le point qui a pour ordonnée Pe et pour abscisse D . si ce point se

trouve sur l'une des courbes, le diamètre dont cette courbe est l'image est celui que nous cherchons. Si ce point se trouve entre deux courbes, le diamètre cherché est intermédiaire aux diamètres que représentent les deux courbes en question. Au demeurant, c'est le déplacement de ce point-image au cours de mesures successives qui sera intéressant comme nos exemples vont nous le montrer.

b) par la formule :

$$d^4 = \frac{D}{7 \sqrt{Pe}}$$

une table de logarithmes ou l'utilisation du tableau qui termine la première partie, page 40, donneront immédiatement la valeur de d^4 .

Exemples : nous avons trouvé chez un malade, à un mois d'intervalle des valeurs de Pe égales à — 4, — 16 et — 9 correspondant respectivement à des débits de 34,18 et 7 cmc. Quels sont les diamètres correspondants de notre bronche de drainage ?

a) par la formule :

nous avons successivement :

$$d^4 = \frac{34}{7 \cdot 2} = 2,43 \quad \text{d'où } d = 1 \text{ mm. } 25$$

$$d^4 = \frac{18}{7 \cdot 4} = 0,64 \quad \text{d'où } d = 0 \text{ mm. } 9$$

$$d^4 = \frac{7}{7 \cdot 3} = 0,333 \quad \text{d'où } d = 0,75$$

nous voyons ici le diamètre de la bronche conventionnelle diminuer, traduisant la tendance à l'oblitération de la bronche de drainage réelle.

b) *par les courbes :*

Ici la comparaison des trois coordonnées successives du point image concrétise mieux encore cette tendance à l'oblitération. C'est pour cela que nous conseillons plutôt l'utilisation des courbes pour la bronche conventionnelle : le déplacement du point image au cours de mesures successives pourra être figuré pour chaque malade et le schéma ainsi réalisé sera le témoin fidèle du diamètre de la bronche de drainage au cours du traitement. L'exemple que nous avons choisi se traduit par la courbe 1, 2, 3 sur la figure IV.

***Détermination de la pression qui doit être réalisée
au niveau du régulateur pour obtenir une pres-
sion endocavitaire donnée.***

C'est le problème le plus intéressant pour la conduite logique du traitement : sa solution exige la détermination préalable du calibre de la bronche de drainage. Nous supposerons ce diamètre trouvé : il nous a suffi pour cela de pratiquer comme nous l'avons vu une mesure de débit sur le malade : en tenant compte de la sonde utilisée nous avons déterminé la pression endocavitaire correspondante d'où le diamètre de la bronche de drainage.

Soit d' ce diamètre et P_e la pression endocavitaire que nous voudrions réaliser, nous supposerons ici encore que la sonde utilisée a une longueur de 30 cm. :

a) *en utilisant les courbes :* au moyen de la courbe correspondant au diamètre de la bronche conventionnelle trouvé, nous déterminons le débit nécessaire pour obtenir la valeur de P_e désirée. Connaissant ce débit, la courbe de notre sonde nous fournit la perte de charge entre les extrémités de la sonde qui lui correspond ; P_r doit être égale à P_e plus cette perte de charge.

Exemple : supposons le diamètre de notre bronche $d' = 1$ mm. et le diamètre de notre sonde $d = 1$ mm. 75 et soit — 4 la dépression désirée dans la caverne.

La seconde courbe de la figure IV nous apprend que pour obtenir $Pe = -4$ il nous faut un débit de 14.

Ce débit correspond, d'après la seconde courbe de la figure III à une perte de charge pour la sonde de 3 cm. la pression à réaliser au niveau du régulateur doit donc être de $4 + 3 = 7$.

b) en utilisant les formules :

Nous avons

$$Pr = Pe + R \quad (1)$$

et

$$D = 0,9 d^4 \sqrt{R} \text{ pour la sonde,}$$

$$D = 7 d'^4 \sqrt{Pe} \text{ pour la bronche.}$$

le débit étant le même dans tout le système, il vient :

$$0,9 d^4 \sqrt{R} = 7 d'^4 \sqrt{Pe}$$

d'où

$$R = \left(\frac{7 d'^4 \sqrt{Pe}}{0,9 d^4} \right)^2 = 60 Pe \cdot \left(\frac{d'^4}{d^4} \right)^2 \quad (2)$$

et en combinant (1) et (2) il vient :

$$Pr = Pe + 60 Pe \left(\frac{d'^4}{d^4} \right)^2$$

Prenons l'exemple numérique précédent :

$$Pr = 4 + 240 \left(\frac{1}{9} \right)^2 = 4 + 3 = 7$$

le résultat est bien identique.

Retenons cette formule, nous y reviendrons en commentant les résultats généraux de notre méthode.

TROISIÈME PARTIE
RÉSULTATS

CHAPITRE I

Application des résultats à la conduite de l'aspiration endocavitaire.

La pression mesurée au régulateur diffère de la pression intra-cavitaire tant que la bronche de drainage est ouverte.

Nous voudrions que le spécialiste ait constamment cette notion à l'esprit lors de la mise en œuvre de l'aspiration cavitaire. Voilà par exemple un malade dont la sonde (de diamètre intérieur égal à 1 mm. 75), est reliée à un régulateur qui réalise, nous dit le manomètre, une aspiration de — 25 cm. ; aspiration qui paraîtra bien audacieuse à beaucoup. Nous mesurons le débit et trouvons 40 cc. (débit couramment rencontré). Les courbes et les formules nous apprennent que la pression qui règne à l'autre extrémité de la sonde, c'est-à-dire dans la caverne, est exactement égale à zéro ! On comprend dans ce cas qu'une telle « aspiration » puisse être continuée longtemps sans résultats.

Ceci nous montre également que le désaccord entre les partisans d'une aspiration élevée et les tenants d'une aspiration plus modérée peut, dans certains cas, n'être qu'apparent :

— soit parce que la bronche de drainage étant trop grosse, la pression endocavitaire reste pratiquement au zéro quelle que soit la pression au régulateur ;

— soit parce que les uns s'adressent à des bronches de drainage pratiquement oblitérées en utilisant des pressions faibles tandis que les autres, qui utilisent des pressions beaucoup plus fortes, s'adressent à des bronches de drainage plus largement perméables. Dans les deux cas en effet la pression endocavitaire est du même ordre, comme nous le prouvent les exemples suivants : soient deux malades traités au moyen de sondes de 1 mm. 75 de calibre intérieur.

L'un deux est aspiré avec une dépression égale à — 4 mais, sa bronche de drainage étant oblitérée, c'est également — 4 qui représente sa pression endocavitaire.

Le second de nos malades est aspiré avec une dépression = — 22, mais comme sa bronche a un diamètre de 1 mm. 25, nous calculons aisément que sa pression endocavitaire est également de — 4.

Réalisation de la pression endocavitaire désirée.

Nous avons vu précédemment la manière de déterminer dans ce but la pression qui doit exister au régulateur.

Nous voulons insister ici sur l'intérêt de répéter ces mesures ; il ne faut pas hésiter à brancher fréquemment le malade sur le débitmètre pour vérifier qu'une modification de sa bronche n'a pas entraîné une modification du débit ; la perte de charge due à la sonde ne serait plus la même et en définitive, notre pression endocavitaire pourrait varier dans des proportions notables.

Ceci nous amène à limiter les pressions acceptables au régulateur : il ne faut pas, en effet, qu'une bronche de drainage assez largement ouverte nous entraîne pour obtenir la pression cavitaire désirée, à donner à Pr des valeurs qui atteindraient facilement le mètre d'eau ! Il suffirait alors que pour une cause quelconque la bronche de drainage

vienne à s'oblitérer pour que, brutalement, cette dépression de 1 m. soit transmise intégralement dans la caverne. La prudence impose au contraire, en plus de la multiplication des mesures, une valeur de P_r qui ne dépasse pas la pression *limite* que l'on juge le poumon capable de supporter durant l'intervalle séparant deux mesures.

Nous ne prétendons pas imposer de valeur pour la pression endocavitaire : chaque auteur a, sur elle, son opinion personnelle, mais il serait profondément illogique de vouloir, *a priori* créer une dépression donnée au régulateur, puisque cette pression ne sera transmise à la caverne que modifiée par le diamètre intérieur de la sonde utilisée et influencée par l'état de la bronche de drainage.

Notre but est de donner une base logique à la conduite du traitement qui ne doit s'appuyer que sur des pressions existant réellement et non sur des valeurs théoriques le plus souvent fausses.

Accidents et échecs de la méthode de Monaldi.

Nous pouvons expliquer certains d'entre eux à la lumière de ce qui précède.

Nous avons vu que l'oblitération d'une bronche de drainage perméable, chez un malade dont le chiffre d'aspiration, P_r , pris au régulateur est relativement élevé, entraîne l'ascension de la pression endocavitaire au niveau de la pression établie au régulateur. Il faut voir là, la cause de certaines hémorragies s'écoulant par la sonde dont l'abondance a fait quelquefois abandonner le traitement. Une prudence plus grande dans la réalisation de P_r et le contrôle fréquent de l'état de la bronche de drainage par l'intermédiaire de son témoin conventionnel doivent permettre de les éviter dans la plupart des cas.

D'autre part, certains échecs semblent dus au diamètre

immuable et trop important de la bronche de drainage : dans ce cas en effet, la pression endocavitaire n'est pratiquement pas différente de la pression atmosphérique quelle que soit la pression au régulateur. Théoriquement nous pourrions augmenter suffisamment cette dernière pour créer, malgré la fuite bronchique considérable, la dépression désirée dans la caverne, mais nous serions alors entraînés rapidement vers des valeurs de P_r que la prudence rend, nous l'avons vu, inacceptables. Tout espoir n'est cependant pas perdu : il est toujours possible d'espérer une diminution du diamètre de cette bronche de drainage et le rôle irritant du courant gazeux n'est sans doute pas négligeable. Nous pouvons également contrebalancer l'apport gazeux bronchique d'une façon plus puissante par l'utilisation de sondes de calibres intérieurs plus grands. Ceci nous conduit à nous demander quel est, avec une sonde donnée, le calibre maximum de bronche que nous pouvons pratiquement équilibrer, c'est-à-dire mesurer.

Rapport nécessaire entre la sonde et la bronche.

Nous ne reviendrons pas sur l'intérêt de la bronche conventionnelle : nous l'avons exposé plus haut et nous en reparlerons à propos des applications de la méthode. Nous allons parler ici de deux problèmes intimement liés qui sont :

— à partir de quel diamètre de la bronche de drainage l'aspiration est-elle pratiquement dans l'impossibilité de créer une pression négative dans la caverne ?

— quel est le diamètre maximum de cette bronche de drainage appréciable par nos mesures ?

Nous avons vu que la détermination du diamètre de la bronche nécessitait une valeur de P_e différente de zéro

pour un certain débit : c'est dire que ces deux problèmes ont une même solution.

Pour parvenir à cette solution, écrivons la formule :

$$Pr = Pe + 60 Pe \left(\frac{d'^4}{d^4} \right)^2$$

que nous avons établie précédemment, sous la forme :

$$Pr = Pe + 60 Pe \left(\frac{d'}{d} \right)^8$$

Remplaçons maintenant la perte de charge Pr par la valeur maxima que nous pouvons lui donner et Pe par sa valeur minima. Pr peut difficilement dépasser sans grande imprudence 60 à 80 cm. ; Pe , pour être appréciable avec une précision suffisante, doit être au moins égal à un.

Nous avons alors :

$$80 = 1 + 60 \left(\frac{d'}{d} \right)^8$$

ou :

$$\frac{79}{60} = \left(\frac{d'}{d} \right)^8$$

ou encore :

$$\sqrt[8]{1,32} = \frac{d'}{d}$$

c'est-à-dire :

$1,036. d = d'$

d étant le diamètre intérieur de la sonde et d' le diamètre de la bronche conventionnelle.

Cette relation nous démontre, que, même en exigeant du débimètre l'aspiration maxima compatible avec la prudence la plus élémentaire, même en se contentant d'une valeur de la pression endocavitaire tout juste mesurable avec quelque précision, il est nécessaire que le diamètre de

la sonde soit au moins égal à celui de la bronche pour que nous puissions appliquer les résultats de notre méthode de mesure.

La conclusion est évidente : pour équilibrer et mesurer des diamètres de bronche aussi grands que possible il est indispensable d'augmenter parallèlement le diamètre intérieur de nos sondes. S'il en est autrement, non seulement toute mesure devient impossible, mais surtout, *on ne peut parvenir à créer une dépression dans la caverne* ; à ce point de vue tout au moins, la mise en aspiration est inefficace, seul persiste le rôle du courant gazeux dont l'action sur la bronche peut quelquefois entraîner son oblitération.

Mais l'augmentation exagérée du calibre extérieur des sondes utilisées entraînerait des inconvénients sur lesquels il est inutile d'insister ; c'est donc surtout sur l'augmentation du diamètre intérieur que nos efforts doivent porter.

Il serait souhaitable que les fabricants s'attachent à créer un modèle de sonde à paroi mince, mais présentant la même résistance mécanique à l'affaissement et la même solidité que les modèles plus épais. La différence de diamètre intérieur parfois énorme qui existe entre plusieurs sondes, pour un même diamètre extérieur, démontre la possibilité d'obtenir une première amélioration immédiate. On peut également envisager l'emploi d'une autre matière plastique ou la création d'armatures pour les sondes utilisées.

Conduite avec patience et minutie par le même spécialiste, continuée au besoin pendant une ou deux années, nous voyons l'aspiration endocavitaire aboutir à des guérisons complètes et définitives. Nous voudrions que cette étude mécanique, par la base logique qu'elle apporte à la conduite du traitement, contribue pour sa modeste part à la réhabilitation d'une méthode injustement décriée.

CHAPITRE II

Applications de cette méthode générale de mesure.

Il nous semble possible d'appliquer cette méthode de mesure à d'autres problèmes que ceux posés par l'aspiration endocavitaire.

Mesure du débit d'une perforation pleuro-pulmonaire.

On sait que l'oblitération de ces perforations a été fréquemment signalée lors de leur traitement par aspiration endo-pleurale continue. Cette oblitération se produit pour des dépressions souvent importantes qu'il serait intéressant de pouvoir déterminer rapidement. Nous pensons que des mesures répétées de débits peuvent nous y aider ; il nous semble actuellement inutile de calculer la dépression réelle régnant dans la plèvre comme nous l'avons fait pour la pression endocavitaire.

La mesure des débits s'effectuera suivant la méthode précédemment indiquée, mais elle devra succéder immédiatement à l'arrêt de la trompe à eau. En effet, comme nous l'avons vu pour la méthode de Monaldi, l'instauration d'un régime d'écoulement permanent nécessite un court laps de temps. Or, ici, la cavité pleurale est comprise dans l'ensemble du système : ce n'est plus un volume d'air de quelques dizaines de centimètres cubes que le débimètre

aura à amener à une dépression donnée, mais un volume pouvant atteindre plusieurs litres ; la capacité de notre appareil n'y suffirait pas. Il est donc indispensable qu'au moment où commence la mesure, le régime définitif soit déjà institué. Pour cela nous conseillons l'emploi d'un robinet à trois voies qui met en relation la cavité pleurale avec le débimètre au moment même où il supprime l'aspiration de la trompe à eau ; la mesure du débit doit commencer immédiatement.

Réaction de la bronche tuberculeuse aux différents agents médicamenteux.

En choisissant un malade traité par la méthode de Monaldi et dont le diamètre de la bronche de drainage soit dans les limites de nos possibilités de mesures, nous pouvons, par l'intermédiaire de notre bronche témoin, étudier les réactions de cette bronche malade aux différents agents médicamenteux.

C'est la première fois, à notre connaissance, qu'une pareille étude *in vivo* est réalisable ; nous regrettons que les circonstances actuelles ne nous aient pas permis, pour l'instant, d'explorer ce champ nouveau ouvert à la pharmacodynamie.

CONCLUSIONS

Dans la méthode de Monaldi, un fait important semble avoir été négligé : la grande différence qui peut exister entre la pression prise au régulateur et celle réalisée par l'aspiration au niveau de la caverne.

On peut démontrer l'existence de cette différence de pression chaque fois que la bronche de drainage n'est pas fermée ; nous avons établi qu'elle était fonction du débit, c'est-à-dire en définitive du diamètre de cette bronche de drainage.

Il est possible d'appliquer une méthode générale simple, basée sur des faits expérimentaux et rattachée aux lois de la mécanique des fluides, permettant non seulement une mesure précise de cette pression intracavitaire, mais encore une appréciation suffisamment exacte du diamètre de la bronche de drainage. L'oblitération de cette bronche étant d'une importance essentielle pour l'évolution et le pronostic des cavernes traitées par aspiration, toute méthode qui permet directement ou indirectement de l'étudier ne saurait être négligée.

La répétition de ces mesures dans chaque aspiration endocavitaire tant que la bronche de drainage n'est pas fermée, nous permet de déterminer la pression nécessaire au régulateur pour obtenir la pression désirée dans la caverne. Nous avons été amenés à remarquer que l'opposition entre les partisans d'une aspiration fortement négative et les tenants d'une aspiration très modérée pouvait,

dans la plupart des cas, n'être qu'apparente. En effet, chaque fois que le diamètre de la bronche de drainage est égal ou supérieur au diamètre interne de la sonde utilisée, la pression endocavitaire reste aux alentours de la pression atmosphérique quelle que soit la pression du régulateur. Les mesures répétées de la pression endocavitaire et du débit au cours de la méthode de Monaldi peuvent permettre de comprendre le mécanisme de certains accidents et de les éviter ; elles permettent également d'expliquer l'inefficacité de la méthode dans certains cas.

Considérant que l'oblitération de la bronche de drainage est le facteur principal de la réussite du traitement, nous avons proposé de la comparer à un tube cylindrique de un centimètre de long à paroi interne lisse (verre ou métal) et de diamètre variable. Nous avons donné la formule et les courbes permettant de connaître instantanément le diamètre de cette « bronche conventionnelle ».

Enfin, nous avons insisté sur la généralité de cette méthode de mesure et signalé les applications que l'on en peut prévoir dès à présent dans des domaines voisins : mesure du débit d'une perforation pulmonaire et surtout : application à l'étude des réactions de la bronche tuberculeuse aux différents agents médicamenteux.

Vu : le Président de la thèse,

M. TROISIER.

Vu : le Doyen,

A. BAUDOUIN.

Vu et Permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

GILBERT GIDEL.

BIBLIOGRAPHIE

- AMEUILLE, DELHOMME et RAUST. — La bronche de drainage des cavernes tuberculeuses (étude anatomique). *Ann. anath. path.*, 13, 1936, p. 849-855.
- ARSONVAL (A. d'). — Recherches théoriques et expérimentales sur le rôle de l'élasticité pulmonaire. Thèse médecine. Paris, 1897.
- BAILLET. — Dans quelle mesure la valeur de la pression pleurale représente-t-elle la rétractilité pulmonaire ? *Rev. tub.*, t. 4, n° 5, mai 1939.
- BERNOU (A.), FRUCHAUD (H.), HOUR (H. d'). — Traitement médico-chirurgical des pleurésies purulentes tuberculeuses. Doin et Cie. 1939.
- DUMAREST et BRETTE. — La caverne à soupape. Hauteville, février 1936.
- DUMAREST, BRETTE, GERMAIN, ACQUAVIVA et BÉRARD (Marcel). — Le drainage endocavitaire seul ou associé à la thoracoplastie. Résultats et enseignements de deux années d'expérience. *Rev. tub.*, 1941, n° 2, p. 78.
- KOLHER (D.). — Un facteur nouveau de la mécanique respiratoire : la viscosité pulmonaire. *Presse médicale*, 1941, p. 337.
- MONOD (R.), MEYER (L.), ²PALLIES (J.), BRESSAT (C.), LOESCHNIGG (H. de) et BRAILLON (J.). — Contribution à la méthode de drainage cavitaire. *Rev. de la tub.*, 1941, n° 2, p. 80.
- NAVEAU. — Présentation d'un appareil limiteur de dépression pour aspiration endocavitaire. *Rev. tub.*, 1941, n° 2, p. 123.

POIX et VINCENT. — Les variations de volumes des cavernes et l'occlusion de la bronche de drainage. *Rev. tub.*, 1938, t. 4, n° 10, pp. 1094-1112.

SCHIPMAN. — Bronchial factor in cavitation. *Amer. rev. tub.*, 1938, 37, pp. 336-345,

TROISIER (D.) et CHADOURNE (P.). — A propos de l'obstruction de la bronche de drainage cavitare. *Rev. tub.*, 1939, t. 5, n° 1, p. 68-78.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION.....	7
Rappel physique	9

PREMIERE PARTIE

Etude physique expérimentale.

Le débimètre.....	13
Perte de charge entre les deux extrémités d'une sonde en fonction de l'air qui la parcourt.....	22
Première vérification.....	29
Ensemble débimètre, sonde, caverne-flacon.....	34

DEUXIÈME PARTIE

Mesures pratiquées sur le malade.

De la similitude exacte qui existe entre les mesures expérimentales précédentes et les mesures cliniques à effectuer.....	43
Mesures effectuées sur le malade.....	45

TROISIÈME PARTIE

Résultats.

Application des résultats à la conduite de l'aspiration endocavitaires	55
Applications de cette méthode générale de mesure.....	61
CONCLUSIONS	63
BIBLIOGRAPHIE	65

1080. — Imprimerie Jouve et C^{ie}, 15, rue Racine, Paris (N^o 31.0939). — 5-44
